



## Potencial de bioremediação do solo em uma área degradada por resíduos sólidos de Passo Fundo, RS

Heberton Júnior dos Santos <sup>1</sup>, Evanisa F. R. Q. Melo <sup>2</sup>, Rubens M. Astolfi <sup>3</sup>,  
Eliege Pazinato <sup>4</sup>

<sup>1</sup> Acadêmico de Engenharia Ambiental, BIC CNPq/ Faculdade de Engenharia e Arquitetura/  
Universidade de Passo Fundo, RS/ E-mail: hebertonjrsantos@hotmail.com;

<sup>2</sup> Doutora em Agronomia/ Professora do Curso de Engenharia Ambiental/ Faculdade de  
Engenharia e Arquitetura/ Universidade de Passo Fundo, RS. E-mail: evanisa@upf.br;

<sup>3,4</sup> Acadêmicos de Engenharia Ambiental/ Universidade de Passo Fundo, RS.

### Resumo

*O aumento populacional aliado ao consumo de produtos industrializados tem gerado enormes quantidades de resíduos que, muitas vezes são dispostos de forma inadequada no meio ambiente. Os aterros de resíduos sólidos e lixões são uma fonte potencial de contaminação das águas, solo e ar, oferecendo riscos à saúde humana. As técnicas de remediação destas áreas contaminadas envolvem uma série de fatores, com o tipo de contaminante e características do solo. Este trabalho teve como objetivo monitorar a atividade microbiológica em diferentes profundidades do solo de um aterro de resíduos sólidos urbanos e comparar com um solo natural como forma de verificar o potencial de biorremediação natural da área contaminada. Foram analisadas amostras de solo natural e de cobertura do aterro para verificação dos parâmetros físico-químicos e verificação da atividade da microbiota pelo teste de respirometria com evolução de CO<sub>2</sub> durante 74 dias. Os resultados indicaram que o solo de cobertura do aterro possui melhores condições para o desenvolvimento dos microrganismos. A evolução de CO<sub>2</sub> foi maior nos tratamentos com o solo de cobertura do aterro, indicando maior atividade de microrganismos e a degradação de compostos orgânicos na área do aterro.*

Palavras-chave: Atenuação natural, Resíduos sólidos, Biorremediação, Evolução de CO<sub>2</sub>.

Área Temática: Resíduos Sólidos.

### Abstract

*The Population growth associated with the consumption of manufactured products has generated large amounts of waste, that are often improperly disposed in environment. The landfills and dumps are a potential source of contamination of water, soil and air, offering risks to human. Techniques of remediation of these contaminated areas involve a number of factors, with the type of contaminant and soil characteristics. This study aimed to monitor the microbial activity in different soil depths of a landfill for urban solid waste compared with a natural soil, evaluating the possible natural attenuation of the area. It were examined samples of natural soil and cover the landfill for verification of physicochemical parameters and verification of microbial activity by respirometry test with evolution of CO<sub>2</sub> over 74 days. The results indicated that the soil covering the landfill with the best conditions for the development of microorganisms. The evolution of CO<sub>2</sub> was higher in treatments with soil covering the landfill, indicating increased activity of microorganisms and the degradation of organic compounds in the landfill.*

Key words: Natural attenuation, Solid waste landfill, Bioremediation, Evolution of CO<sub>2</sub>.

Theme Area: Solid waste.



## 1 Introdução

O crescimento populacional e a industrialização aliado ao aumento dos padrões de consumo da sociedade causam a geração de enormes quantidades de resíduos sólidos e líquidos (CELERE *et al.* 2007). Os valores da geração de resíduos variam muito em função do nível socioeconômico, cultural e de desenvolvimento tecnológico de uma região ou país. Os resíduos se tornam um problema para os municípios que não possuem um plano de gerenciamento adequado e na maioria das vezes acabam dispondo de maneira incorreta, como em lixões ou despejando os efluentes nos corpos hídricos sem nenhum tipo de tratamento. Os resíduos sólidos urbanos devem ser dispostos em aterros sanitários para evitar a proliferação de vetores de doença, geração de maus odores e, contaminação do solo, das águas subterrâneas e da biota (TRESOLDI, 1998).

As áreas contaminadas por resíduos sólidos urbanos apresentam, em muitos casos, níveis elevados de metais nos solos de recobrimento e na área circunvizinha. Esses metais podem entrar na cadeia alimentar e contaminar os ecossistemas (OLIVEIRA & JUCÁ, 2004; PRADEEP *et al.*, 2005). Metais como chumbo, arsênio, cromo, zinco, cádmio, cobre e mercúrio podem causar danos significativos ao meio ambiente e a saúde humana devido à facilidade de solubilização, mobilização dos mesmos e bioacumulação (LEMON & SANTOS, 2007). A remediação dessas áreas é um desafio devido à complexidade da contaminação e da dificuldade de remover esses contaminantes do meio.

A remediação de solos contaminados é uma metodologia de difícil aplicação que deve ser escolhida devido às características do local, quantidades, tipos do poluente e destinação final do solo. Os métodos usualmente utilizados na remediação de áreas contaminadas são a biorremediação, fitoremediação e a atenuação natural que é o mais utilizado, além de outras tecnologias empregadas para isolamento do local, imobilização dos contaminantes e separação física (LEMON & SANTOS, 2007).

Segundo Alvarez e Illman (2006), a bioremediação é uma técnica que oferece várias vantagens como baixo custo e eliminação de poluentes *in-situ*. No processo de biorremediação, a degradação dos poluentes ocorre pela ação dos microrganismos presentes (atenuação natural) ou inoculados no solo contaminado (bioaumentação), podendo ocorrer naturalmente ou ser estimulada por nutrientes como matéria orgânica, oxigênio, nitrogênio, fósforo, potássio, entre outros (MENEGETTI, 2007).

A fitoremediação é um processo de tratamento que utiliza plantas, envolvendo remoção, estabilização ou degradação de contaminantes em solos e águas subterrâneas. As plantas devem estar em contato com os contaminantes na rizosfera e é aplicável para qualquer solo que suporte vegetação (SHARMA & REDDY 2004).

A atenuação natural, também chamada de atenuação natural monitorada envolve processos físicos, químicos e biológicos que agem sem intervenção humana para reduzir a massa, toxicidade, mobilidade, volume ou a concentração de contaminantes (SHARMA & REDDY, 2004; PÉREZ, 2006). Os microrganismos presentes passam então, a utilizar o composto orgânico poluente como fonte de carbono, ocasionando assim uma redução da sua concentração ao longo do tempo. No entanto, o tempo envolvido no processo de atenuação natural costuma ser bastante longo (meses ou anos) o que torna necessária a remoção do solo impactado e encaminhamento do mesmo para tratamento *ex-situ* (BAPTISTA & RIZZO, 2004). A presença e atividade dos microrganismos depende de inúmeros fatores físico-químicos do solo como pH, macronutrientes, micronutrientes, matéria orgânica, temperatura e umidade, sendo que em ambientes naturais, o nutriente que normalmente limita o crescimento microbiano é o carbono, e os nutrientes inorgânicos que estão presentes em quantidades que normalmente excedem as demandas das comunidades microbianas (JACQUES *et al.*, 2007). A técnica de atenuação natural é primeiramente aplicável para a degradação de constituintes



orgânicos, mas também pode ser usado, para imobilização de contaminantes inorgânicos, metais tóxicos e radioativos (SHARMA & REDDY, 2004).

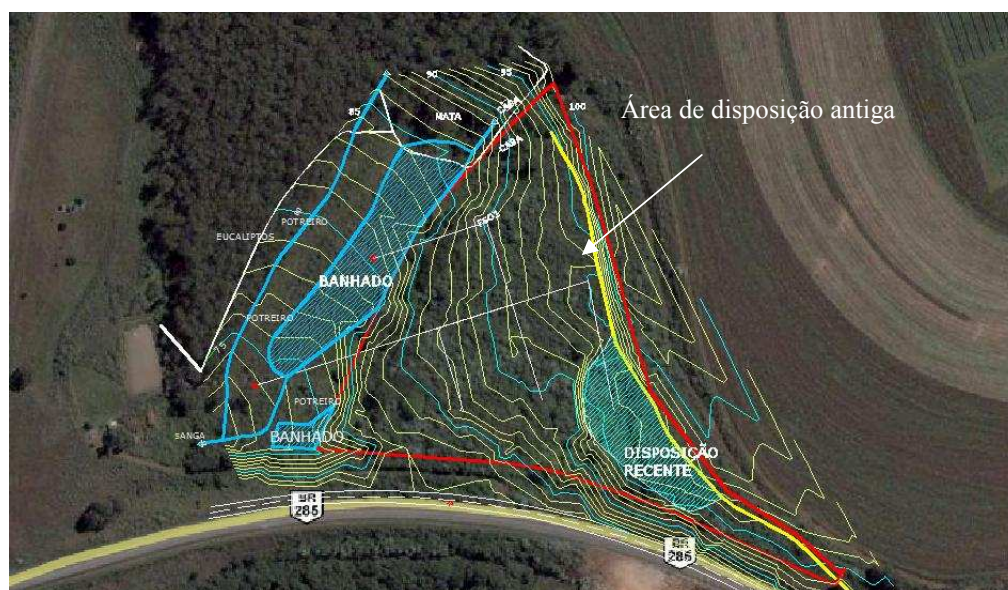
O objetivo da pesquisa foi monitorar a atividade microbiológica em diferentes profundidades do solo de um aterro de resíduos sólidos urbanos e comparar com um solo natural, avaliando a possível atenuação natural da área.

## 2 Metodologia

O Aterro Invernadinha situa-se no município de Passo Fundo-RS (Figura 1) e localiza-se junto a BR-285, entre o Campus da Universidade de Passo Fundo (UPF) e a Embrapa - Trigo, com área correspondente a 50.985,67m<sup>2</sup>. A área do aterro é dividida em Área de disposição antiga e Área de disposição recente (Figura 2).



Figura 1 – Localização do município de Passo Fundo



Fonte: Adaptado de Map Link/Telemap, 2006.

Figura 2 – Área do aterro Invernadinha





As coletas do solo foram realizadas na área de disposição antiga do aterro sendo coletado solo de cobertura do aterro em diferentes profundidades e as amostras de solo natural retiradas de um talude, sem influência dos resíduos sólidos, nas mesmas profundidades e dividida em tratamentos, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1 – Delineamento da pesquisa

Profundidade (cm)	TRATAMENTOS	
	Solo natural	Solo de cobertura do aterro
0-10	T1	T4
50-60	T2	T5
100-110	T3	T6

Para todas as amostras foram realizadas análises físico-químicas, análises microbiológicas, identificação de fungos e bactérias e verificação da atividade microbiológica pelo método de evolução de CO<sub>2</sub>.

As análises físico-químicas foram realizadas pelo método de Tedesco (1995), avaliando-se teor de argila, pH H<sub>2</sub>O, pH KCl, fósforo (P), potássio (K), nitrogênio total (N), matéria orgânica (MO), carbono (C), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases (V) e também a umidade natural do solo (W).

A atividade microbiológica foi avaliada pelo método de respirometria descrito por Kiel (2002) utilizando quatro repetições para cada ponto de amostragem. O método baseia-se na captação do CO<sub>2</sub> liberado pela degradação dos poluentes orgânicos. Para a execução do método de respirometria, 0,25 kg de solo foram acondicionados em potes de vidros herméticos de 1 L (Figura 3), utilizando 3 dias como tempo de resposta durante o período de 74 dias.



Figura 3 – Experimento de evolução de CO<sub>2</sub>

A análise estatística foi realizada utilizando os dados do método de respirometria para avaliar a significância entre as profundidades nos diferentes tipos de solo, entre os dois solos e entre as profundidades no mesmo tipo de solo. Na análise de variância foi considerada



significância estatística de  $p < 0,05$  (procedimento General Linear Model) e utilizado o software MINITAB 15.

### 3 Resultados e discussões

#### 3.1 Análises Físico-Químicas

As análises físico-químicas do solo para todos os tratamentos no tempo zero da pesquisa, ou seja, antes de iniciar-se a evolução apresentam-se na Tabela 2.

Tabela 2 – Caracterização do solo em estudo, Passo Fundo, 2009.

Amostras Solo	Argila (%)	pH H <sub>2</sub> O	pH KCl	P mg.dm <sup>-3</sup>	K mg.dm <sup>-3</sup>	N Total (%)	MO (%)	C (%)	CTC cmol <sub>c</sub> /dm <sup>3</sup>	V (%)	W (%)
T1	59	4,7	3,9	4	73	0,08	1,1	0,87	17,7	13	27
T2	60	4,8	3,9	4	33	0,08	1	0,96	17,4	11	34
T3	54	4,7	3,8	6	33	0,13	1,7	1,32	21,5	10	26
T4	20	5,7	5,1	>53	204	0,75	6	8,41	19,9	80	43
T5	23	6,7	6,5	>53	101	0,55	6	8,78	13,8	84	61
T6	29	6,8	6,7	>53	93	0,55	>9,7	9,66	19,3	93	64

A quantidade de argila nas amostras do solo natural apresenta-se com poucas diferenças apesar da primeira amostra ser coletada no horizonte A e as outras no B, demonstrando assim uma característica dos Latossolos que são solos homogêneos, com os baixos valores de CTC e V. O solo caracteriza-se como Latossolo Vermelho Distrófico Típico de acordo com Embrapa, (2004). A argila no solo de cobertura do aterro é menor em relação ao solo natural devido ao solo do aterro ser caracterizado como material orgânico e não mais mineral pela quantidade de carbono medido ser maior que 8% (EMBRAPA, 2004).

O pH em água e em KCl no solo natural são os mesmos em todas as profundidades a diferença do pH em água e em KCl é negativa (em torno de -0,8) o que proporciona ao solo um incremento de cargas negativas e conseqüente de retenção de cátions, como os metais pesados. Nas amostras do solo de cobertura, o pH apresenta tendência básica de acordo com a profundidade e as cargas negativas tendem a anular-se ficando a capacidade de adsorção de cátions somente pela matéria orgânica.

Os resultados obtidos para P, que é um macronutriente essencial para o desenvolvimento da vida microbiana do solo, no solo natural é muitas vezes menores que no solo de cobertura do aterro. A quantidade de K, que é um nutriente importante para os microrganismos, diminuiu com a profundidade das amostras tanto no solo natural quanto no solo de cobertura, sendo que no solo de cobertura do aterro as quantidades são três vezes superiores as do solo natural. O N total das amostras obteve comportamento similar ao P e K, mas aumentou com a profundidade no solo natural e diminuiu com a mesma no solo de cobertura.

A MO do solo natural nos primeiros 60 cm apresentaram o mesmo valor sendo mais elevado na profundidade de 110 cm. Para o solo de cobertura do aterro apresenta-se aumento de seis vezes o teor de MO em comparação com o solo natural e um acréscimo na profundidade de 110 cm. O solo do aterro é caracterizado pela Embrapa (2004), como solo orgânico. Os teores de MO e C são de extrema importância para vida microbiológica, pois o C é fonte de energia de todos os microrganismos.

A CTC do solo natural é baixa, característica de Latossolos, aumentando na profundidade de 110 cm T3. Para o solo de cobertura manteve-se um valor constante. A saturação por bases (V) no solo natural é baixa, o que demonstra ser um solo pouco fértil e



com poucos nutrientes para os microrganismos. No solo de cobertura o (V) é extremamente alto o que explica o valor de pH ser básico. A W variou devido às condições do dia de coleta, onde o solo reteve maiores umidades com a profundidade.

### 3.2 Evolução de CO<sub>2</sub>

O método de evolução de CO<sub>2</sub>, teste de respirometria ou C mineralizável foi realizado para determinar quanto de C é respirado pela microbiota do solo nos tratamentos de Atenuação Natural. Pela determinação das taxas de respiração durante um período de incubação, pode-se determinar a taxa máxima de respiração, relacionado com a biomassa existente nesse solo. Este método consiste na captura de C-CO<sub>2</sub>, emitido de uma amostra de solo, em solução de NaOH e sua dosagem por titulação em HCL.

De acordo com Spinelli (2005) a liberação de CO<sub>2</sub> é um dos fatores determinantes para a eficiência dos processos de biorremediação. Sendo assim, uma maior observação de microrganismos corresponde a uma maior evolução de CO<sub>2</sub> e conseqüentemente uma maior biodegradação dos compostos. A atividade microbiológica avaliada pela evolução de CO<sub>2</sub> ocorreu em maior intensidade nos solos da área de disposição antiga do aterro, apresentadas na Figura 4.

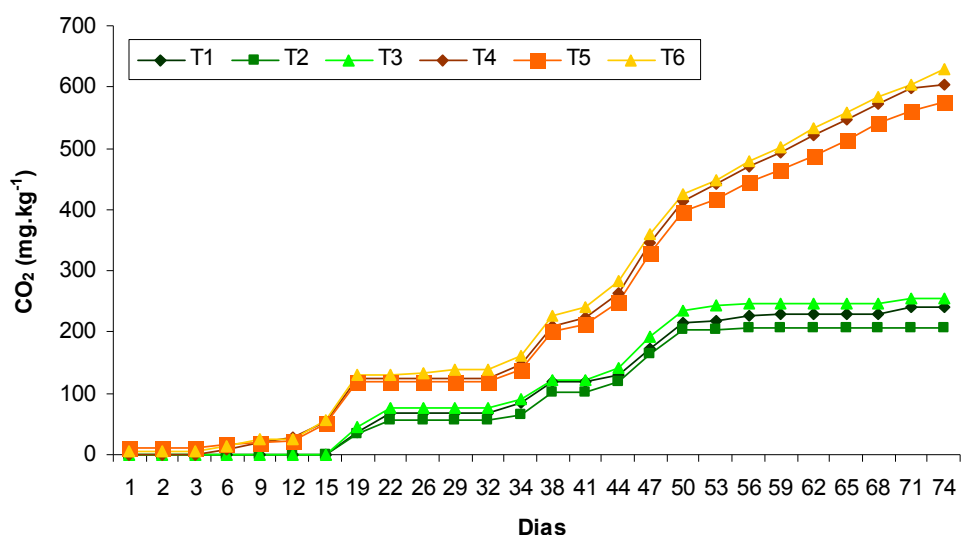


Figura 4 – CO<sub>2</sub> acumulado ao longo do experimento.

A atividade microbiológica foi semelhante até os 12 dias em todos os tratamentos, sendo considerado como período de adaptação dos microrganismos ao ambiente. A partir desse período, inicia-se a fase de crescimento em todos os tratamentos, observando-se maior atividade da microbiota no solo de cobertura do aterro. A fase de estabilização no solo natural foi observada após os 50 dias do experimento, enquanto que os tratamentos do solo de cobertura do aterro continuam em fase de crescimento.

Os maiores valores de CO<sub>2</sub> acumulados foram obtidos nos tratamentos T6, T4 e T5, respectivamente, indicando a possível degradação dos compostos orgânicos presentes no solo. A maior atividade microbiológica nesses tratamentos esta relacionada com o desenvolvimento de microrganismos no solo em condições ambientais favoráveis, devido a maiores teores de P, K e MO biodisponíveis no solo.



A análise estatística apresentou diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os tipos de solo e entre as profundidades, porém a interação entre a profundidade e o solo não apresentou diferença significativa em nenhum momento da pesquisa.

#### 4 Considerações finais

O solo de cobertura do aterro possui melhores condições para o desenvolvimento dos microrganismos em relação ao solo natural, devido às diferenças dos teores de nutrientes. A evolução de  $\text{CO}_2$  foi maior nos tratamentos com o solo de cobertura do aterro, indicando maior atividade de microrganismos. Observaram-se diferenças significativas entre as profundidades nos diferentes tipos de solo, não sendo observadas diferenças entre as profundidades do mesmo solo. A atenuação natural da área do aterro ocorre para os compostos orgânicos que estão sendo degradados pelos microrganismos presentes o que foi observado pela evolução de  $\text{CO}_2$ .

#### Agradecimentos

Destaca-se o incentivo das instituições Fapergs, CNPq e UPF pelas bolsas de iniciação científica concedidas aos autores e aos colegas que colaboraram na execução dos ensaios.

#### Referências

- ALVAREZ, P.J.J.; ILLMAN, W. A. **Bioremediation and Natural Attenuation: Process Fundamentals and Mathematical Models**. New Jersey: John Wiley & Sons, 2006, 609 p.
- BAPTISTA, P. M., RIZZO, A. C. de. L. **Acompanhamento do processo de Atenuação Natural de solo contaminado por petróleo**. In: XII Jornada de Iniciação Científica do CETEM/MCT, Anais... Rio de Janeiro 2004.
- CELERE *et al.* Metais Presentes no Chorume Coletado no Aterro Sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua Relevância para a Saúde Pública. **Caderno de Saúde Pública**, v. 23, n. 4, p. 939-947, 2007.
- EMBRAPA. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solo**. Brasília: EMBRAPA, 2004, 412p.
- JACQUES et al. Biorremediação de solos contaminados com hidrocarbonetos aromáticos policíclicos. **Ciência Rural**, Santa Maria, v.37, n.4, p.1192-1201, jul-ago, 2007.
- KIEL, E. J. **Manual de compostagem: maturação e qualidade do composto**. Piracicaba, 171 p. 2002.
- LEMONS, J. L. S. ; SANTOS R. L. C. **Aplicação de microrganismos na recuperação de metais**. In: I Jornada do Programa de Capacitação Interna – CETEM, Anais... Rio de Janeiro 2007.
- MAP LINK/ TELEMAT. Imagem aérea do Google Earth. 10 mar. 2006. Escalas variam.
- MENEGHETTI, L.R.R. **Biorremediação na descontaminação de solo residual de basalto contaminado com óleo diesel e biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade de Passo Fundo. Passo Fundo, 2007.



OLIVEIRA, F. J. S.; JUCÁ, J. F. T. **Acúmulo de metais pesados e capacidade de impermeabilização do solo imediatamente abaixo de uma célula de um aterro de resíduos sólidos.** *Engenharia sanitária e ambiental*, v.9, n.3, p. 211-217, 2004.

PEREZ, O.C. **Atenuación natural de suelos contaminados con residuos tóxicos de origen minero. Aislamiento y caracterización microbiana.** Relatório interno de atividades da Faculdade de Biología. Universidad de La Habana, Habana, Cuba, 2006.

PRADEEP, Jaim; HWIDONG, Kim; TOWNSED, Timothy g. **Heavy Metal in Soil Reclaimed from a Municipal Solid Waste Landfill.** *Waste Management*, v.25, p.25-35, 2005.

SHARMA, H. D.; REDDY, K. R. **Geoenvironmental engineering: site remediation, waste containment, and emerging waste management technologies.** New Jersey: John Wiley & Sons, 992 p. 2004.

TEDESCO, M. J. et al. **Análises de solo, plantas e outros materiais** – Boletim técnico Nº 5.2 Porto Alegre, Catalogação Internacional na Publicação, p. 21 e 89-95, 1995.

TRESSOLDI, MARILDA; CONSONI, ÂNGELO JOSÉ. Disposição de resíduos. In: OLIVEIRA, Antonio Manoel dos Santos; BRITO, Sérgio Norton Alves de. **Geologia de engenharia.** São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia, 1998. p. 343-360.